



光合成の飽和曲線

早稲田大学
園池公毅

もう 10 年ほど前、JST のさるグラントの合議審査の際の話である。化学系の審査委員の先生が、人工光合成に関するある申請書類について「量子収率のデータは示しているけど、重要なのは最大出力なんだよなー」とコメントされた。確かに、エネルギープラントのような最終的な応用系を考えた時には、「わずかな光でも効率よく変換できます」というよりも「最大出力は〇〇 kW です」という方が重要なのだろう。量子収率が高くても最大出力が高いとは限らないわけであるし。

酵素の化学反応速度論を考えても、基質との親和性を示す K_m 値と、反応の最大活性を示す V_{max} の 2 つは、酵素の能力を記述するパラメータとして重要であり、しかも、親和性と最大活性の間には、往々にして、片方を改善するともう一方が低下するという、トレードオフの関係が見られる。

これに対して、太陽電池の場合は、メーカーの説明などを見ると、その出力は、太陽の直射日光の強さの光まで、ほぼ光量に比例する。つまり、この場合、弱光における収率と、自然界における最大出力は比例することになる。これは、太陽電池におけるエネルギー変換が、化学反応ではなく物理反応であることを反映しているように思われる。

では、植物の光合成の場合はどうだろうか。入射する光量に対する光合成速度のグラフは、光-光合成曲線と呼ばれ、曲線という名称からもわかるように、典型的な飽和カーブを描く。飽和のカーブの形は植物の種類や生育環境によって異なるが、一般

的な C_3 植物では、直射日光の数分の一の光量で飽和し始める。光合成についても、弱光領域での速度の傾きとして量子収率を、強光領域の最大速度として最大出力を定義することができるが、実はこの 2 つの間には明確なトレードオフが見られない。というよりも、植物の種類による量子収率の差は、極めて小さいのである。

そうであれば、どのような場合でも最大光合成速度の高い葉を作る方が得になるはずだが、実際には、弱光に適応した植物の葉は、最大光合成速度が低い傾向がある。これは、最大光合成速度の高い葉は、それを維持するためにより多くのエネルギーが必要で、この維持コストを賄うために呼吸の速度が高くなることが原因である。つまり、最大光合成速度の高い葉は、弱光環境では維持コストが稼ぎを上回って生きていけないのである。

光合成速度が強光下で飽和することは、葉の向きにも影響を与える。太陽電池の場合、入射光量と出力が比例するので、入射光に対してパネルを 60 度傾けて 2 枚置いても、投影面積は同じで、1 枚を平らに置いた時と出力は変わらない。枚数を増やしたただけ損をする。しかし、光合成が飽和する強光環境下の葉では、葉を傾けて葉面積当たりの光量が減っても光合成はあまり低下しないから、葉を傾けて 2 枚置くと、1 枚を平らに置いた時よりも合計出力はだいぶ大きくなる。直射日光がよく当たる草原で、イネ科の草が斜め上方に葉を出しているのは、このことを反映している。一方で、暗い林床に生える草を観察すると、たいいてい地面に平行な葉をつけている。出力が飽和しない弱光環境では、葉の枚数を増やすと損をするためだ。光合成の飽和カーブが、葉のつけ方も決めるのである。